



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑩ DE 42 10 689 A 1

⑤1 Int. Cl.5:  
G01 B 7/10

②1 Aktenzeichen: P 42 10 689.3  
②2 Anmeldetag: 1. 4. 92  
④3 Offenlegungstag: 15. 12. 94

DE 42 10 689 A 1

⑦1 Anmelder:

List-Magnetik GmbH, 70771  
Leinfelden-Echterdingen, DE

⑦4 Vertreter:

Magenbauer, R., Dipl.-Ing.; Reimold, O., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat.; Vetter, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing.; Abel, M.,  
Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 73728 Esslingen

⑦2 Erfinder:

List, Heinz-Dieter, 73760 Ostfildern, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Meßsonde zur Schichtdickenmessung

⑤7 Die Erfindung betrifft eine Meßsonde, die einen Topfkern und eine mit hochfrequentem Wechselstrom speisbare Meßspule aufweist, um Dickenmessungen nach dem Wirbelstromverfahren durchzuführen. Gemäß der Erfindung ist auf der Rückseite des Topfkerns ein Permanentmagnet angeordnet, während aus der offenen Vorderseite des Topfkerns, angrenzend an das Mittelstück desselben, ein Meßelement in Form einer Feldplatte oder eines Hallelements angeordnet ist, so daß mit der Meßsonde auch Dickenmessungen nach dem magnetinduktiven Verfahren durchgeführt werden können.

DE 42 10 689 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 050/3

7/31

Die Erfindung betrifft eine Meßsonde für ein Meßgerät zur Messung der Dicke einer elektrisch nichtleitenden Schicht auf einem metallischen Träger mit einer mit hochfrequentem Wechselstrom speisbaren, in einem auf seiner Vorderseite beim Meßvorgang zu dem metallischen Träger hin offenen Topfkern angeordneten Meßspule und einem konzentrisch zu Spule und Topfkern angeordneten, einen Meßpol des Gerätes definierenden Polleitstück aus magnetisch leitendem Material.

Derartige Meßsonden bzw. -geräte sind bekannt (vgl. DIN 50984) und dienen der Messung der Dicke von nichtleitenden Schichten auf einem Untergrund bzw. Träger aus einem Nichtisen-Metall bzw. einem diamagnetischen Material nach dem Wirbelstromverfahren. Bei diesem Verfahren werden von der mit hochfrequentem Wechselstrom gespeisten Meßsonde auf der offenen Seite des Topfkerns schnell wechselnde magnetische Felder erzeugt, die in dem elektrisch leitfähigen Träger der nichtleitenden Schicht, deren Dicke gemessen werden soll, Wirbelströme erzeugen, deren begleitende Magnetfelder dem von der Meßspule erzeugten Magnetfeld entgegenwirken und deren Rückwirkungen auf die Meßspule zur Erzeugung eines elektrischen Meßsignals ausgewertet werden, welches der zu messenden Dicke der nicht leitenden Schicht entspricht, da diese gewissermaßen als Distanzelement zwischen der Meßsonde und dem Träger liegt und damit primär die Stärke der in dem Träger erzeugten Wirbelströme und sekundär die dadurch hervorgerufenen Rückwirkungen auf die Meßspule beeinflusst.

Weiterhin sind Meßsonden bzw. -geräte zur Messung der Dicke nicht-leitender Schichten und galvanischer Schichten auf einem magnetisch leitenden Untergrund bzw. Träger bekannt, die nach dem magnetinduktiven Verfahren arbeiten (vgl. DIN 50981). Diese magnetinduktive Verfahren basiert darauf, daß in Abhängigkeit von der zu messenden Dicke einer Schicht auf einem magnetisch leitfähigen Grundwerkstoff bzw. Träger die Verteilung des magnetischen Flusses, welcher mit Hilfe eines Permanentmagneten erzeugt wird, auf einen magnetischen Hauptflußpfad und einen magnetischen Nebenflußpfad geändert wird, wobei die Höhe des magnetischen Hauptflusses mit Hilfe eines auf die magnetische Flußdichte ansprechenden Meßelements, wie z. B. eines Hallelements oder einer Feldplatte, erfaßt und in ein entsprechendes elektrisches Signal umgewandelt wird, welches der zu messenden Schichtdicke entspricht.

Gemäß dem vorstehend erläuterten Stande der Technik erfolgt die Schichtdickenmessung nach dem einen oder dem anderen der beiden vorstehend erläuterten Verfahren, nämlich dem magnetinduktiven Verfahren einerseits und dem Wirbelstromverfahren andererseits, jeweils mittels spezieller, nur für die Durchführung des betreffenden Meßverfahrens geeigneter Meßsonden.

Ausgehend vom Stande der Technik, liegt der vorliegenden Erfindung nunmehr die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Meßsonde anzugeben, welche sowohl für eine Schichtdickenmessung nach dem magnetinduktiven Verfahren als auch für eine Schichtdickenmessung nach dem Wirbelstromverfahren geeignet ist.

Diese Aufgabe wird bei einer Meßsonde der eingangs angegebenen Art, d. h. bei einer Meßsonde zur Schichtdickenmessung nach dem Wirbelstromverfahren, gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß auf der geschlossenen Rückseite des Topfkerns, angrenzend an das rückwärtige Ende des Polleitstücks, ein Permanentma-

gnet angeordnet ist, durch den das Polleitstück in axialer Richtung parallel zur Längsmittelachse des Topfkerns magnetisch derart polarisierbar ist, daß sich am vorderen Ende des Polleitstücks und damit am Meßpol des Gerätes ein magnetischer Pol ergibt und daß, angrenzend an das vordere Ende des Polleitstücks, ein Meßelement angeordnet ist, durch welches ein der magnetischen Flußdichte am Meßpol entsprechendes elektrisches Signal erzeugbar ist.

Es ist ein besonderer Vorteil der Meßsonde gemäß der Erfindung, daß für die Durchführung zweier ganz verschiedener Meßverfahren zur Schichtdickenmessung nunmehr nur noch eine einzige Meßsonde benötigt wird, welche wesentliche Teile aufweist, die bei beiden Meßverfahren eingesetzt werden, so daß, beispielsweise ausgehend von einer Meßsonde zur Schichtdickenmessung nach dem Wirbelstromverfahren, nur ein geringer zusätzlicher technischer Aufwand erforderlich ist, um mit derselben Sonde auch eine Schichtdickenmessung nach dem magnetinduktiven Verfahren durchführen zu können.

In Ausgestaltung der Erfindung hat es sich als günstig erwiesen, wenn als Meßelement eine Feldplatte verwendet wird, da im Handel eine breite Palette geeigneter Feldplatten für unterschiedliche Anwendungen angeboten wird und zahlreiche geeignete elektronische Baugruppen zur Auswertung der Ausgangssignale solcher Feldplatten verfügbar sind.

Weiterhin hat es sich in Ausgestaltung der Erfindung als vorteilhaft erwiesen, wenn am Meßpol ein besonderes Polstück, insbesondere ein Saphirpolstück, vorgesehen ist, welches eine definierte, verschleißfeste Auflagefläche für die Meßsonde bildet, wobei es besonders günstig ist, wenn das Meßelement zwischen dem magnetischen Pol des Polleitstücks und dem separat vorgesehenen Polstück angeordnet ist, da an dieser Stelle einerseits der magnetische Hauptfluß besonders gut erfaßt werden kann und andererseits das Polstück für eine mechanische Abstützung des Meßelements und einen Schutz desselben gegen mechanische Beschädigungen sorgt.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung hat es sich auch als günstig erwiesen, wenn das Polleitstück an seinem dem Permanentmagneten zugewandten Ende mit einem zwischen dem Permanentmagneten und dem Boden des Topfkerns liegenden Kopfteil vergrößerten Durchmessers versehen ist, um den von dem axial polarisierten Permanentmagneten ausgehenden magnetischen Fluß zuverlässig in dem Polleitstück zu bündeln.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand von Zeichnungen noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen axialen Längsschnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Meßsonde;

Fig. 2a bis 2c schematische Darstellungen der wesentlichen Teile der Meßsonde gemäß Fig. 1 zur Erläuterung der Arbeitsweise derselben beim Einsatz zur Durchführung von Messungen nach dem magnetinduktiven Verfahren und

Fig. 3a und 3b schematische Darstellungen der wesentlichen Teile der Meßsonde gemäß Fig. 1 zur Erläuterung der Arbeitsweise derselben beim Einsatz zur Durchführung von Messungen nach dem Wirbelstromverfahren.

Im einzelnen zeigt Fig. 1 einen axialen Längsschnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform einer Meßson-

de 10 gemäß der Erfindung. Diese Meßsonde 10 ist im Betrieb über eine Verbindungsleitung mit einer Versorgungs-, Auswerte- und Anzeigeeinheit (nicht dargestellt) verbunden. Diese Einheit umfaßt weitgehend übliche Einrichtungen, wie sie für die Speisung der aktiven Teile einer Meßsonde, für die Auswertung der von der Meßsonde gelieferten Signale und für die Anzeige der Meßergebnisse erforderlich sind, wobei im vorliegenden Fall, wie dies aus der nachstehenden Beschreibung noch deutlich werden wird, einerseits die geeigneten Einrichtungen für die Durchführung von Messungen nach dem magnetinduktiven Verfahren vorgesehen sein müssen, und andererseits die Einrichtungen für die Durchführung von Messungen nach dem Wirbelstromverfahren und überdies geeignete Umschalteneinrichtungen zum Umschalten zwischen den beiden Betriebsarten.

Die Meßsonde 10 gemäß der vorliegenden Erfindung bildet, umfaßt im Inneren einer aus nicht-magnetisierbarem Material, insbesondere einem geeigneten Kunststoffmaterial, bestehenden Schutzhülse 16 eine zu einer Längsachse 18 im wesentlichen rotationssymmetrische Meßanordnung 20 mit einem Topfkern 22, in dem eine Erregerwicklung bzw. Meßspule 24 angeordnet ist. Der Topfkern 22 ist auf seiner im Gebrauch dem Meßobjekt zugewandten Vorderseite offen und besitzt an seiner Rückseite einen geschlossenen Boden. Ferner ist der Topfkern 24 mit einer zu der Achse 18 konzentrischen Mittelbohrung versehen, in die der Schaft eines Polleitstücks 26 eingesetzt ist, welches auf der Rückseite des Topfkerns 24, angrenzend an den geschlossenen Boden desselben, einen Kopf vergrößerten Durchmessers aufweist. Das Polleitstück 26, welches aus magnetisch leitendem Material besteht, ist also pilzförmig ausgebildet. Auf der von dem Topfkern 22 abgewandten Oberseite des Kopfes des Polleitstücks 26 ist ein axial in Richtung der Achse 18 polarisierter, zweipoliger Permanentmagnet 28 angeordnet, dessen Südpol S beim Ausführungsbeispiel dem Polleitstück 26 zugewandt ist. Angrenzend an das freie in Fig. 1 untere Ende des Schaftes des Polleitstücks 26, welches auf der offenen Seite des Topfkerns im Inneren der dafür vorgesehenen Bohrung des Topfkerns endet, ist am Mittelteil des Topfkerns 22 eine Feldplatte 30 bzw. allgemein ein auf einen magnetischen Fluß ansprechendes Meßelement angeordnet. Auf der Außenseite der Feldplatte 30 befindet sich ein Polstück 32 in Form eines Saphir-Polstücks oder in Form eines Stahl-Polstifts, der eine variable Dicke aufweisen kann.

Bei der Durchführung einer Messung bildet das Polstück 32 einen definierten, verschleißfesten Meßpol, welcher die dahinterliegende Feldplatte 30 oder dgl. gegen mechanische Beschädigungen schützt.

Wenn die erfindungsgemäße Meßsonde 10 zur Schichtdickenmessung nach dem magnetinduktiven Verfahren eingesetzt wird, dann wird gemäß der schematischen Darstellung gemäß Fig. 2a meßtechnisch die Tatsache genutzt, daß das freie Ende des Schaftes des Polleitstücks 26 bzw. der zentrale Teil des Topfkerns 22 einen Meßpol mit einer vorgegebenen magnetischen Polarität — im betrachteten Ausführungsbeispiel einen magnetischen Südpol — bildet und daß die umlaufende Wand des Topfkerns 22 einen magnetischen Pol derselben Polarität, d. h. also ebenfalls einen Südpol bildet. Auf der im Gebrauch dem zu untersuchenden Bauteil bzw. der zu messenden Schicht zugewandten Seite der erfindungsgemäßen Meßsonde 10 sind als für die Durchführung einer Schichtdickenmessung nach dem magnetinduktiven Verfahren von vornherein zwei

gleichnamige magnetische Pole vorhanden, nämlich ein innen liegender Meßpol und ein diesen Meßpol ringförmig umgebender zweiter Meßpol derselben Polarität, der durch den umlaufenden Rand des Topfkerns 22 auf der offenen Seite desselben gebildet wird. Hierdurch ergibt sich ein magnetischer Hauptfluß von dem Meßpol zur Rückseite des Permanentmagneten und ein magnetischer Nebenfluß vom Rand des Topfkerns 22 zu der Rückseite des Permanentmagneten 28. Das Verhältnis von magnetischem Hauptfluß zu magnetischem Nebenfluß wird dabei bei im übrigen gleichen Bedingungen von dem Verhältnis  $d_1/d_2$  bestimmt, wobei  $d_1$  als der Abstand zwischen dem Permanentmagneten 28 und dem Boden des Topfkerns 22 definiert ist und gleich der axialen Höhe des Kopfes vergrößerten Durchmessers des Polleitstücks 26 ist, während  $d_2$  gleich der Dicke des Polstücks 32 ist. Das günstigste Verhältnis von magnetischem Hauptfluß zu magnetischem Nebenfluß wird im Einzelfall empirisch derart bestimmt, daß sich, wenn überhaupt, nur eine außerordentliche geringe Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Krümmung der Oberfläche eines Gegenstandes ergibt, der mit einer Beschichtung versehen ist, deren Dicke gemessen werden soll.

Das magnetische Feld für die Durchführung der Messungen ist ein magnetisches Gleichfeld, welches allein durch den Permanentmagneten 28 erzeugt wird, während die Meßspule 24 für das magnetinduktive Meßverfahren ohne Funktion ist.

Wenn die Meßsonde 10 nunmehr gemäß Fig. 2b mit dem Polstück 32 auf die mit einer Beschichtung 34 versehene Oberfläche eines magnetisch leitenden Trägers 36 aufgesetzt wird, dann ergibt sich ein magnetischer Hauptfluß längs eines Pfades 38, welcher rotationssymmetrisch zur Achse 18 zwischen dem Polstück 32 und dem Nordpol auf der Rückseite des Permanentmagneten 28 verläuft. Weiterhin ergibt sich längs eines Pfades 40 ein magnetischer Nebenfluß vom Rand des Topfkerns 22 zur Rückseite des Permanentmagneten 28. Der von dem Permanentmagneten 28 ausgehende magnetische Fluß teilt sich also in einen Hauptfluß und einen Nebenfluß, wobei die Anteile von Hauptfluß und Nebenfluß bei im übrigen gleichen Verhältnissen von der Dicke der Beschichtung 34 abhängig sind. Da von der Feldplatte 30 lediglich der Hauptfluß erfaßt wird, stellt die von der Feldplatte erzeugte elektrische Spannung folglich ein Signal dar, welches der Dicke der Beschichtung 34 entspricht.

Aufgrund der vorstehend erläuterten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Meßsonde 10 ist diese sowohl für die Schichtdickenmessung auf flachen Trägern als auch für die Schichtdickenmessung auf runden Trägern geeignet, wie dies in Fig. 2c dargestellt ist, wobei es ein besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Meßsonde ist, daß die Meßergebnisse weitgehend unabhängig von der Wölbung des Trägers, d. h. von dessen Durchmesser, sind, so daß keine neue Kalibrierung vorgenommen werden muß, wenn die Schichtdickenmessung auf Trägern mit unterschiedlichen Wölbungen oder Durchmessern durchgeführt wird. Die besonders geringe Empfindlichkeit gegen eine Krümmung der Oberfläche des Trägers ist dabei darauf zurückzuführen, daß die Aufteilung in Haupt- und Nebenfluß praktisch allein von dem Abstand zwischen der Kontaktfläche des Polstücks 32 und dem unter der Beschichtung 34 vorhandenen magnetisch leitenden Werkstoff des Trägers 36 abhängig ist, wie dies aus dem in Fig. 2c gezeigten Feldlinienverlauf deutlich wird.

Bei der Schichtdickenmessung nach dem Wirbelstromverfahren haben der Permanentmagnet 28 und die Feldplatte 30 keine Funktion. Vielmehr wird die Meßspule 24 in üblicher Weise mit hochfrequentem Wechselstrom gespeist, so daß das Mittelstück des Topfkerns 22 einen Pol der einen Polarität bildet — in Fig. 3a und 3b einen Südpol S —, während der Rand des Topfkerns bzw. dessen Außenwand einen magnetischen Pol entgegengesetzter Polarität bildet — in Fig. 3a und 3b einen Nordpol N. Das von dem Permanentmagneten 28 erzeugte magnetische Gleichfeld hat bei der Messung nach dem Wirbelstromverfahren keinen Einfluß auf die entstehenden Wirbelströme und damit auch keinen Einfluß auf die dadurch verursachten, dem Magnetfeld der Spule entgegenwirkenden magnetischen Flußänderungen, die allein zur Bildung eines Meßsignals herangezogen werden, welches der Schichtdicke einer nichtleitenden Beschichtung 34' auf einem elektrisch leitenden Träger 36 entspricht.

#### Patentansprüche

1. Meßsonde für ein Meßgerät zur Messung der Dicke einer elektrisch nicht-leitenden Schicht auf einem metallischen Träger mit einer mit hochfrequentem Wechselstrom speisbaren, in einem auf seiner Vorderseite beim Meßvorgang zu dem metallischen Träger hin offenen Topfkern angeordneten Meßspule und einem konzentrisch zu Spule und Topfkern angeordneten, einen Meßpol des Gerätes definierenden Polleitstück aus magnetisch leitendem Material, dadurch gekennzeichnet, daß auf der geschlossenen Rückseite des Topfkerns (22), angrenzend an das rückwärtige Ende des Polleitstücks (26), ein Permanentmagnet (28) angeordnet ist, durch den das Polleitstück (26) in axialer Richtung parallel zur Längsmittelachse (18) des Topfkerns (22) magnetisch derart polarisierbar ist, daß sich am vorderen Ende des Polleitstücks (26) und damit am Meßpol des Gerätes ein magnetischer Pol ergibt und daß, angrenzend an das vordere Ende des Polleitstücks (26), ein Meßelement (30) angeordnet ist, durch welches ein der magnetischen Flußdichte am Meßpol entsprechendes elektrisches Signal erzeugbar ist.
2. Meßsonde nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßelement eine Feldplatte (30) vorgesehen ist.
3. Meßsonde nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß am Meßpol ein Polstück (32) vorgesehen ist.
4. Meßsonde nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Polstück (32) aus einem Saphir besteht.
5. Meßsonde nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement (30) zwischen dem Polleitstück (26) und dem Polstück (32) angeordnet ist.
6. Meßsonde nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Polleitstück (26) an seinem dem Permanentmagneten (28) zugewandten Ende mit einem zwischen dem Permanentmagneten (28) und dem Boden des Topfkerns (22) liegenden Kopf vergrößerten Durchmessers versehen ist.

- Leerseite -

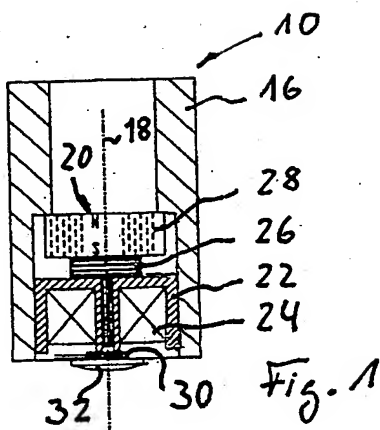


Fig. 1

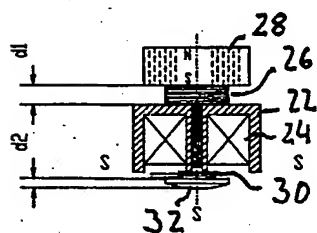
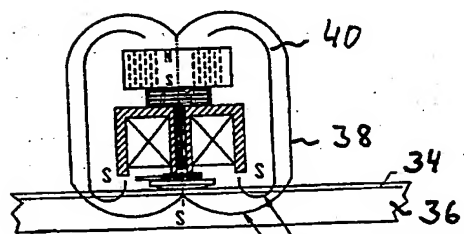
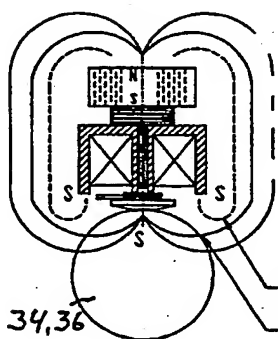


Fig. 2a



magn.Nebenschluss  
magn.Hauptfluss  
Fig. 2b



magn.Nebenschluss (klein)  
magn.Hauptfluss  
34, 36  
Fig. 2c

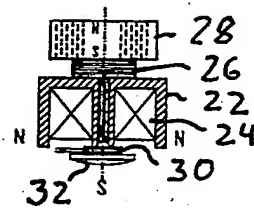


Fig. 3a

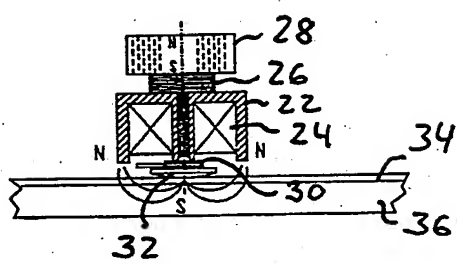


Fig. 3b

**Measuring probe for measuring layer thickness**

Patent Number: DE4210689  
Publication date: 1994-12-15  
Inventor(s): LIST HEINZ-DIETER (DE)  
Applicant(s): LIST MAGNETIK GMBH (DE)  
Requested Patent: DE4210689  
Application Number: DE19924210689 19920401  
Priority Number(s): DE19924210689 19920401  
IPC Classification: G01B7/10  
EC Classification: G01B7/10C  
Equivalents:

**Abstract**

The invention relates to a measuring probe which has a cup-type core and a measuring coil which can be fed with high-frequency alternating current in order to conduct thickness measurements using the eddy-current method. In accordance with the invention, a permanent magnet is arranged on the rear of the cup-type core, while a measurement element in the form of a field plate or a Hall element is arranged on the open front of the cup-type core, adjacent to the middle piece of the latter, with the result that the measuring probe can also be used to carry out thickness measurements in accordance with the magnetic induction method.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

TEL. (954) 852-1100  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33055  
P.O. BOX 2480  
LERNER AND GREENBERG P.A.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

DOCKET NO: TER-00 P0016

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: A. Bush et al.

**LERNER AND GREENBERG P.A.**

**P.O. BOX 2480**

**HOLLYWOOD, FLORIDA 33022**

**TEL. (954) 925-1100**